



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11144596 A**(43) Date of publication of application: **28 . 05 . 99**

(51) Int. Cl

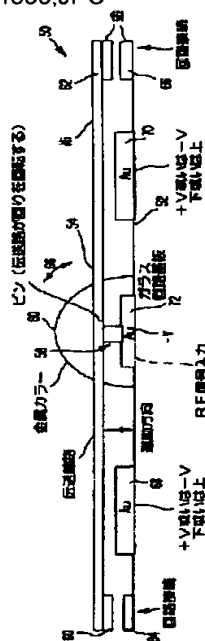
**H01H 59/00**(21) Application number: **10194082**(22) Date of filing: **09 . 07 . 98**(30) Priority: **18 . 07 . 97 US 97 897075**(71) Applicant: **TRW INC**(72) Inventor: **BERENZ JOHN J  
MCIVER GEORGE W  
LEE ALFRED E**(54) **MICRO ELECTRIC MACHINE SYSTEM SWITCH**

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To extend the life and improve the mechanical reliability by providing a circuit board for forming a pivot point, a pin rotatably supported thereby, a beam rotatable between two positions, at least one pair of electric contacts and a field plate to which a voltage for rotating the beam is applied.

**SOLUTION:** A rigid beam 54 of a metal such as Ni is rotated around a pin 58 rotatably mounted on a circuit board 52 by a metal collar 60 or the like forming a seesaw type arrangement. Contacts 64, 66 on the circuit board 52 are conformed to the contacts 60, 62 of Au or the like formed on the lower surface of the beam 54. A DC voltage is applied to a field plate forming a parallel plate capacitor in conformation to a pair of electric contacts 68, 70 on the circuit board 52, the beam 54 is rotated by the electrostatic attracting force and repelling force generated between the contacts 68, 70 and the beam 54 to operate an RF switch 50. When the pin 58 is formed of Ni or the like, this forms an RF input port. The beam 54 is never bent or twisted, and the fatigue can be minimized.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-144596

(43) 公開日 平成11年(1999) 5月28日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 H 59/00

識別記号

F I

H 0 1 H 59/00

審査請求 有 請求項の数23 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-194082

(22) 出願日 平成10年(1998) 7月9日

(31) 優先権主張番号 08/897075

(32) 優先日 1997年7月18日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 590002529

ティアルダブリュー インコーポレイテッド

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

90278 レドンド ビーチ スペース パーク 1

(72) 発明者 ジョン ジェイ ベレンス

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

90731 サン ペドロ サウス アーケイディア ドライブ 442

(74) 代理人 弁理士 中村 稔 (外6名)

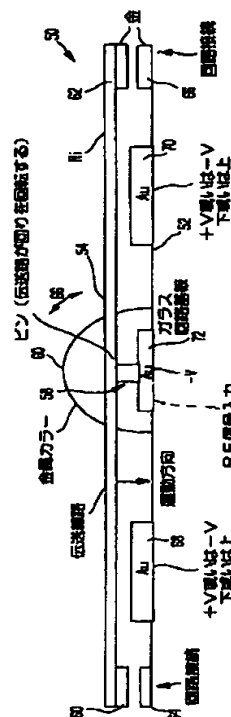
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロ電気機械システムスイッチ

(57) 【要約】

【課題】 RFスイッチを、アレイ状に構成可能なマイクロ電気機械スイッチとして形成し、マイクロ電気機械スイッチアレイを形成する。

【解決手段】 MEMSを回路基板上に形成する。回路基板により回転可能に支えられたピンでピボット点を決める。剛体ビーム又は伝送線路の中心部をピン上に置き、シーソーを形成する。剛体ビームとシーソーにより信頼性低下要因のビームへの捻れと曲げの力が除かれる。スイッチは、例えばHBTとHEMTでできた他のモノリシックマイクロ波集積回路に集積されるようになっており、適当なポリマー層例えばポリイミドでそうした回路と分離させることで、他の回路とモノリシックに集積できる。ビームを全て金属で作れば、スイッチの挿入損失が二酸化珪素や混合金属の接点を使う場合より減り、スイッチ感度が上がりRFスイッチング製品に使用できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 RFスイッチにおいて、回路基板と、ビ  
ボット点を形成する前記回路基板により回転可能に支え  
られるピンと、前記ビボット点に置かれて第一位置と第二  
位置の間に前記ビームが回転可能させるビームと、前記  
回路基板と前記ビームにより支えられる少なくとも一対  
の電気的接点と、前記第一位置と前記第二位置の間で前  
記ビームを回転させる静電気力を印可電圧の関数の形で  
作り出すために所定の電圧を受け取る少なくとも一つの  
界磁プレートとを含むことを特徴とするRFスイッチ。

【請求項2】 前記ビームが剛体ビームであることを特  
徴とする請求項1に記載のRFスイッチ。

【請求項3】 前記ビームが全て金属で形成されている  
ことを特徴とする請求項1に記載のRFスイッチ。

【請求項4】 前記金属が低温電気めっき工程で形成さ  
れたニッケルNiであることを特徴とする請求項3に記載  
のRFスイッチ。

【請求項5】 一対の電気的接点が前記ピンの互いに反  
対側に形成され、RF出力ポートを形成することを特徴  
とする請求項1に記載のRFスイッチ。

【請求項6】 界磁プレートが前記電気的接点の各々の  
対に近接して形成されていることを特徴とする請求項6  
に記載のRFスイッチ。

【請求項7】 RF入力ポートを形成する前記ピンと接  
触する金属接点を更に含むことを特徴とする請求項6に  
記載のRFスイッチ。

【請求項8】 前記回路基板が予め決められたポリマ  
ー、ガラスないし半導体の層であることを特徴とする請  
求項1に記載のRFスイッチ。

【請求項9】 前記ポリマーがポリイミドであることを  
特徴とする請求項8に記載のRFスイッチ。

【請求項10】 一対の電気的接点がRF信号を前記ビ  
ームに接続するために使われ、他の一対の電気的接点が  
前記ビームを接地するために使われることを特徴とする  
請求項5に記載のRFスイッチ。

【請求項11】 前記RFスイッチがモノリシックに形  
成されていることを特徴とする請求項1に記載のRFス  
イッチ。

【請求項12】 集積RFスイッチが、第一層を形成す  
るモノリシックマイクロ波集積回路(MMIC)、とRF  
スイッチとを含み、RFスイッチは、ビボット点を形  
成する回路基板層で支えられかつ前記第一層上に形成さ  
れる回路基板層と、第一位置と第二位置の間で前記ビ  
ームを回転可能とすべく前記ビボット位置に置かれたビ  
ームと、少なくとも一対の電気的接点が前記回路基板層と  
前記ビームで支えられ、前記第一位置と前記第二位置の  
間で前記ビームを回転させる静電気力を印加電圧の関数  
として作り出すために所定の電圧を受け取る少なくとも一  
つの界磁プレートとを、含むことを特徴とする集積RF  
スイッチ。

【請求項13】 前記MMICと前記RFスイッチの間の  
接続を可能にするために前記回路基板層に形成された  
バイアスを更に含むことを特徴とする請求項12に記載  
の集積RFスイッチ。

【請求項14】 前記MMICがヘテロ接合バイポーラ  
トランジスタ(HBT)で形成された回路を含むこと  
を特徴とする請求項12に記載の集積RFスイッチ。

【請求項15】 前記MMICが高電子移動度トランジ  
スタ(HEMT)の回路を含むことを特徴とする請求  
項12に記載の集積RFスイッチ。

【請求項16】 前記ビームが剛体であることを特徴と  
する請求項12に記載の集積RFスイッチ。

【請求項17】 前記ビームが全て金属で形成されてい  
ることを特徴とする請求項12に記載の集積RFスイ  
ッチ。

【請求項18】 前記回路基板層がポリイミドであるこ  
とを特徴とする請求項12に記載の集積RFスイッチ。

【請求項19】 (a) 回路基板を提供するステップ  
と、(b) 前記回路基板上に接点を形成するステップ  
と、(c) 前記接点に対して回転可能に支えられるビ  
ームを前記回路基板上に形成するステップと、(d) 前記  
回路基板上の前記接点と合わさるようになった接点を前  
記ビーム上に形成するステップとを含むことを特徴とす  
るマイクロ電気機械スイッチ(MEMS)を形成する方  
法。

【請求項20】 回転可能なビームが延長ピンと共に形  
成されることを特徴とする請求項19に記載のMEM  
S。

【請求項21】 前記ピンを捕捉するためのカラーを形  
成する段階を更に含むことを特徴とする請求項19に記  
載のMEMS。

【請求項22】 前記MEMSが既存のモノリシックマ  
イクロ波集積回路の頂上部に形成するようになっている  
ことを特徴とする請求項19に記載のMEMS

【請求項23】 前記回路基板がポリマーであることを  
特徴とする請求項19に記載のMEMS。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明はRFスイッチに関する。  
より詳しくはモノリシック集積マイクロ電気機械システ  
ム(MEMS)スイッチに関するものであり、MEMS  
は、剛体ビームと、回路基板と、少なくとも一つの電気  
的接点とを含み、回路基板に回転可能につながれた金属  
ピンがモノリシックに形成され、シーソーを形成するビ  
ームに対しビボット点を定め、そのシーソーは接点開放  
位置と接点閉鎖位置の間を回転すべく静電的に作動す  
るようになっており、ビームの曲がりがなくなりスイ  
ッチ寿命が延びる。

## 【0002】

【技術的背景】RFスイッチは一般的に技術上知られて

いる。こうしたスイッチの例は、ここで参照用に掲げた米国特許No. 5, 578, 976に詳しく述べられている。こうしたRFスイッチは、チューニング可能な前置増幅器、周波数シンセサイザといった様々なマイクロ波及びミリメートル波製品で、自動車製品と同様に使われている。図1は、既知のRFマイクロ電気機械システム(MEMS)スイッチを示している。図の様に全体が参照番号20で表されるMEMSは、回路基板22上に形成され、一方の端にポスト24が形成されている。可撓性の片持ちビーム26の一方の端が、ポスト24に接続されている。片持ちビーム26は一方の端で電気的接点28を支えるようになっており、電気的接点28は、回路基板22に支えられた対応する接点29に合わさるように調整されている。RF入力信号はRF入力ポートを形成する接点29に接続されるようになっており、一方接点28はRF出力ポートを形成する。

【0003】スイッチ20は、静電的に作動するようになっており、接地プレート32が回路基板22上に形成されており、界磁プレート34が片持ちビーム26上に形成されている。接地プレート32は接地されるようになっており、界磁プレート34はDC電圧源に選択的につながれるようになっており、作動中、界磁プレート34に電圧がかかっていない状態では、接点28は接点29から離れ、図1で全体的に示された接点開放状態が定まる。適切な直流電圧が界磁プレート34にかかると、片持ちビーム34は静電気力により変位し、電気的接点28が電気的接点29に合わさる状態を生じさせ、RF入力信号がRF出力ポートに電気的に接続されるのを可能とする。電圧が界磁プレート34から除かれると、片持ちアーム20は片持ちビーム26の復元力により図1に示された静的位置に戻る。

【0004】米国特許No. 5, 552, 924も回路基板上に形成されたマイクロ電気機械(MEM)装置を開示している。延長されたビームを支えるため、ポストが回路基板上に形成される。延長されたビームは中央で支えられ、ビーム両端に電気的接点が形成される。本構造物は静電的に作動する。更に詳しく言えば、直流電圧が延長されたビーム上の界磁プレートにかけられると、静的電気力が生れビームを捻り曲がらせる。残念ながら上述の構成は、スイッチが作動する毎に片持ちビームが曲がらねばならない。こうした曲がりば、スイッチ寿命を短くしスイッチの信頼性を下げることになる。こうした既知のRFスイッチには、挿入損失が比較的高いと言った他の問題があり、この問題はRFスイッチング製品のようなある種の製品では受け入れがたい。詳しく述べれば、米国特許No. 5, 578, 976に開示されている二酸化珪素で作られた片持ちビームであり、米国特許No. 5, 552, 994に開示されているスイッチのビームに複合珪素金属合金(Al:Ti:Si)が使われている。残念ながらこうした材料をビーム

に使うと、挿入損失が比較的大きくなり、RFスイッチの感度を下げることになる。

【0005】上述のように、こうしたRFスイッチは例えば周波数シンセサイザ等の広範囲の製品で利用されるようになっており、従来の半導体RFスイッチは比較的大きくて嵩張る(即ち、16×16のアレイの場合400立方インチ)ことが知られており、このようなRFスイッチを利用するシステムのパッケージサイズは比較的大きくなってしまふ。微細機械加工のなされたRFスイッチがそれなりに開発され、例えば、米国特許番号5, 578, 976と5, 552, 994に開示されている。こうした微細機械加工のなされたRFスイッチのお陰で、パッケージサイズはかなり小さくなった(即ち、1立方インチ)。しかし、このような微細機械加工のなされたRFスイッチに関する製造技術は、既知のHBTとHEMTの加工技術ないしCMOS加工技術と相容れず、HEMTとHBTの装置ないしCMOS装置に前記RFスイッチを組み込むことをこれまでの所は妨げている。

#### 【0006】

【発明の概要】本発明の目的は、先行技術における様々な問題を解決することである。本発明のもう一つの目的は、既知の電気製造技術で製造するのに適したRFスイッチを提供することである。本発明の更にもう一つの目的は、既知のRFスイッチに対して機械的信頼性が改善されたRFスイッチを提供することである。本発明の更にもう一つの目的は、CMOS、HET、HEMTマイクロ波モノリシック集積回路(MMIC)と言った他の集積回路にモノリシックに集積されるのに適したRFスイッチを提供することである。要約すると、本発明は、マイクロ電気機械システム(MEMS)として形成されるRFスイッチに関するものであり、本スイッチはマイクロ電気機械スイッチアレイ(MEMSA)を形成するようアレイ状に構成可能である。MEMSは回路基板上に形成される。回路基板によって回転可能に支えられたピンで、ピボット点を定める。一般的には、剛体ビームないし伝送線路の中央部をピンの上に置いてシーソー型配置を形成する。剛体ビーム使うと信頼性を下げる原因であるビームに対する捻れと曲げの力がなくなる。スイッチは、例えばHBTとHEMTから成るMMICにモノリシックに集積されるようになっており、RFスイッチの製造工程でMMICを保護するための適当なポリマー層、例えばポリイミドで、そうした回路と分離がなされる。挿入損失を減らすため、ビームは全て金属で形成され、これによりスイッチの感度が上がり、スイッチはRFスイッチング製品に使用可能となる。ビームないし伝送線路を全て金属で作ることで、スイッチは、二酸化珪素の複合シリコン金属ビームを使用する他のスイッチよりも、挿入損失が低くなる。

#### 【0007】

【実施例】本発明のこれら及び他の目的は、以下の明細書と添付の図面により、直ちに理解できる。本発明は、アレイ状に形成可能なマイクロ電気機械システム(MEMS)スイッチとしてRFスイッチを、既知の電気製造技術での製造されるようにしたものに関するものであり、このRFスイッチでマイクロ電気機械スイッチアレイ(MEMSA)を作る。以下により詳しく述べるが、スイッチはスイッチ寿命を延ばし機械的信頼性を向上させるように構成される。加えて、スイッチはポリマー層ないし回路基板上に形成されるようになっており、このポリマー層ないし回路基板は、マイクロ波モノリシック集積回路(MMIC)の保護に使用でき、MMICにスイッチを集積させることができる。

【0008】本発明のRFスイッチの一実施例を、図2、3a、3bに示し、RFスイッチ全体を参照番号50で示す。スイッチ50は、回路基板52上に形成されるようになっている。HEMT分散増幅器やHBT-TTLドライブ回路のようにスイッチ50がマイクロ波モノリシック集積回路に集積される製品の場合、回路基板52は、ポリイミド即ちBPDA-PDAデュボンp-フェニレンビフェニルテトラカルボキシルイミドと言ったポリマーで形成される。ポリマーはMMICの直接上側に層として形成され、RFスイッチの製造工程の間にMMICを保護する。ポリイミドの低誘電率(即ち $\epsilon=2$ )は、例えば、RF伝送線路に対し損失の比較的小さい回路基板を提供する。図4で最良に示されるように、スイッチ50とMMIC49間を、ホール47を経て同軸で相互接続してもよく、こうすればRFインピーダンスを維持しつつ高絶縁性を与えながらあるレベルから別のレベルへの転移が可能になる。

【0009】本発明の重要な面は、ビーム54が剛体で、ピン58回りに回転するようになっていているという事実に関係している(図2)。ピン58は、例えば、シーソー型配置を形成する金属カラー60によって回路基板52に対して回転可能に取り付けられている。ビーム54の曲がりないし捻れた曲がりをなくすことで、ビームの疲労が減り、スイッチ寿命同様にスイッチの全体的信頼性が向上する。本発明のRFスイッチの配置は様々であるが、例えば、図3に単極双投スイッチを示す。しかし、本発明の原理は、他のスイッチ配置にも同様に適用できる。単極双投スイッチ50には、回路基板52に面したビーム54の側面に、例えば金Auの金属接点60、62が形成される。これらの接点60、62は、回路基板52上に形成されたそれぞれの対応する接点64、66と合わさるようになっている。

【0010】RFスイッチ50は、静電気力で作動するようになっている。特に、一对の電気的接点68、70を、回路基板52上に形成してもよい。これら接点68、70のオン、オフは、対応する界磁プレート69、71に加えられる適切な直流電圧の結果生ずる静電気力

で制御される(図3a)。特に、界磁プレート69、71を接点68、71と組み合わせ、並列プレートコンデンサーを形成する。従って、界磁プレート69、71に直流電位を与えると、接点68、70と金属ビーム54の間に静電気引力と反発力が生じる。ビーム54の回転方向は、界磁プレート69、71に加えられた直流電圧の極性に依存する。単極双投スイッチ50の場合、接点72は回路基板52上に形成されてもよく、そうすると電気伝導性材料(即ちニッケル)からできているピン58とビーム54は電気的に接触することになる。接点72をRF入力ポート61として使用してもよく(図3a)、一方、60、64の接点对と62、66の接点对をそれぞれRF出力ポート63と65として使用してもよい。特に、接点62が電気的接点66と電気的に接している場合、接点72に加えられたRF入力信号は電気的接点62と66から出てゆく。代替案として、接点60が接点64と電気的に接している場合、RF入力信号は接点60と64から出てゆく。

【0011】スイッチの感度を向上させるだけでなく挿入損失を減少させるため、ビーム54を全て金属としてもよい。特に、ビーム54は多くの半導体加工に比べ低温でなされる電気メッキのニッケルNiで形成してもよい。全て金属でできたビーム54は、既知の二酸化珪素ないし複合シリコン金属ビームに対して挿入損失が減るだけでなく、こうした配置は拡大したダイナミックレンジを与えるための第三順序遮断位置をも改善する。図2、3a、3bに示したスイッチ配置の場合、ピン58はRF入力ポートを形成する。図5a、5bは代替配置を示しており、全体を参照番号70で示されたRFスイッチは回路基板72、ビーム74、ピン76とを含んでいる。この実施例の場合、電気的接点78、80が回路基板72の各々の端に形成され、ビーム74の反対側の端に形成された各々に対応する接点82、84と合わさるようになっている。後者の配置の場合、回路基板76の一端に形成された接点80がRF入力ポートを形成し、一方ビーム74に電子的につながれた接点77はRF出力ポートを形成する。

【0012】静電気力を使い、上述のようにビーム74を回転させる。特に、接点78は、オフ出力ポートを形成し、接地される。回路基板72上に形成された一对の接点86、88是一对の界磁プレート87、89と共同で、上述の並列プレートコンデンサーを形成する。特にビーム74が反時計方向に回転する場合、ビーム74の静電気電位をゼロにするため、ビーム74は接地される。さもないと、スイッチプレートが働くことによる未知の静電気力でスイッチ挙動が不安定になる可能性がある。代替例として、スイッチ70が時計回り方向に回転する場合、ビーム74は接地されず、RF入力ポートはビーム74に直接接続され、この場合接点84は出力接点を形成する。スイッチ50、70の作動は、ビーム5

4、74と界磁プレート間の静電気力に依存する。界磁プレートとビーム間の力は、電荷Qと電界Eの関数である。一つの界磁プレートは、ビームと同じ電位に維持され、その結果、力は0となる。他の界磁プレートには、方程式1で決まる電荷により、ビーム74に対してある電位差が与えられる。

$$(1) \quad Q = C \cdot V = \epsilon_0 \cdot (w l / t) \cdot V$$

但し、W、lは各々ビームの幅、長さ、tは接点間距離、Vは電圧である。静的電界は方程式2で決まる。

$$(2) \quad E = V / t$$

静電気力は、電荷Qと静的電界Eの積あるから、力は方程式3で与えられる。

$$(3) \quad F = Q \cdot E = \epsilon_0 \cdot (w l / t^2) \cdot V^2$$

構造物を釣り合わせると、静電気力は、静的誘導ないし加速度誘導による如何なる対抗力にも妨害されなくなる。従って電圧が一つのプレートに加わると、構造物は、作動プレートに最も近い端の接点を閉じかつ他端の接点を開く方向へ傾く。

【0013】スイッチが一つの位置から他の位置へ動くのに要する時間は、静電気力と、ビームの質量と、移動距離によって決まる。ビームの移動が直線的でかつ静電気力が一定と仮定し、たとえビームがピボット回りにわずかに約0.006ラジアン回転しかつ一定電圧の下で作動開始から全閉の間に静電気力が約2倍に変化するとしても、こうした分析によれば、最も弱い静電気力が全時間を通じて加わるとしスイッチング電圧の立上り時間を加えて計算されるスイッチング遅れを単純に考慮することでスイッチング遅れの限界が与えられる。実際のスイッチング時間はもっと短い可能性がある。

【0014】図11に示した代表例の配置のスイッチング遅れは、方程式4で決まる。

$$(4) \quad \sqrt{(2mXF)} \quad \text{但し、} m = d L w a$$

但し、Xはビームが動かねばならぬ距離（例えば3ミクロン）、dはビームの密度（例えば8.9Kg/m<sup>3</sup>）、lはビームの長さ（例えば900ミクロン）、wはビームの幅（例えば150ミクロン）、aはビームの厚さ（例えば8ミクロン）である。これら具体的数値の場合、ビームの質量は9.6×10<sup>-9</sup>Kgとなる。電圧を10ボルト、tを4.5ミクロン、lを200ミクロンに選ぶと、ビームとプレート間に1.3×10<sup>-6</sup>ニュートンの静電気力が生じ、スイッチング時間は200マイクロセカンド以下となる。より早いスイッチング速度が必要な場合は、プレートに加える電圧を10から35ボルトへ上げると、静電気力は約10倍に増やすことができる。ビームの作動しない部分を除き質量を3分の1に減らす機械的設計も考慮されている。スイッチング速度を最適にするため、ビームのニッケル厚みを減らすことも可能である。垂直方向のスペーシングを2分の1に減らすことも考えられ、こうすると静電気力が4倍に増加し、移動する距離が2分の1に減りスイッチ

ング時間は約2マイクロセカンドとなる。

【0015】スイッチの周波数レスポンス（即ち、RF作動周波数）は、スイッチの物理的寸法の関数である。一般に、スイッチのサイズが小さくなる程、スイッチの作動可能な周波数は関連する要因のため高くなる。本発明によるスイッチは最小寸法が約10×50ミクロンと、即ち約40GHzのRF作動周波数を有する既知のRFスイッチより10倍も小さくなるようになってい。例えば図2、3a、3bに示すスイッチに関し、10GHzまでの挿入損失、戻り損失、絶縁性を図8と9に示す。これらの図から、スイッチ50は挿入損失が比較的 low、約2GHzで戻り損失が比較的高く約45dbの絶縁性を示すことが分かる。絶縁性を改善するため、二つのスイッチを直列に接続し90dbまでの絶縁性を与えることができる。

【0016】二つのスイッチ50、70の絶縁性を、各々図10a、10bに比較する。スイッチ70は短絡バースイッチとして形成され、ビームの一端が出力伝送線路の入力を短絡させるために使われる、即ち、ギャップスペーシングを設計して伝送線路の幅を適切にすることで、スイッチ70は、図10bに示すような2GHzで50dbの絶縁性が可能となり、二つのスイッチを直列にし100dbまでの絶縁性を提供できる。スイッチ50、70の代替配置を、図6、7に示す。図6の実施例の場合、スイッチ51を使って直通伝送線路に接続する一方、スイッチ53を使って平行に間隔をあけた二つの伝送線路を接続する。スイッチ51には、開きと閉じの二つのスイッチ状態がある。開き状態では、二つの伝送線路は接続されず、閉じ状態では二つの伝送線路は接続される。スイッチ53には、全開き、一つ閉じ、ないし両方閉じの三つのスイッチ状態がある。この実施例の場合、二つの伝送線路を接続するビームは、RF信号から来るビームにつながれた伝送線路の少なくとも一つを接続したり切り離すようにするため、ピン回りの回転だけでなく直線的な垂直方向への移動も可能である。

【0017】図12-15は、本発明によりMEMSを製造段階を詳細に示す。上述のように、本発明によるMEMSはマイクロ波集積回路(MMIC)53に集積され、直接MMIC上のポリマー回路基板52上に形成される。代替案として、MEMSは独立の装置として製造されてもよい。図12においては、伝導体金属100の層が回路基板層52上に形成される。伝導体金属として、回路基板52上に直接、例えば300のクロム(Cr)と2,000の金(Au)を蒸着により堆積させてもよい。伝導体金属層100を従来のフォトリソグラフィ技術によりマスクしてかたど、接点と界磁プレートを様々な配置に形成する。接点101、103、ピボット接点105、一对の界磁プレート107、109を含む接点の具体的配置を図12cに示す。図示のように、界磁プレート107、109同様に接点101、105

は、複数の入出力ポート111、113、115、117に電気的に接続される(図12b)。接点103は接点105に直接つながれる。他の配置も可能である。フォトレジストを伝導体金属層100にかけ、例えば、図3bと5bに示すようにマスクを通して感光させ、接点、伝導体及び界磁プレートを決める。一旦伝導体パターンをフォトリソグラフィ技術で決めたら、伝導体金属層100を例えば湿式エッチングによりエッチングし、伝導体、接点及び界磁プレートを形成する。

【0018】上述のように、MEMSはシーソー型に形成され、金属ビーム、ピボット、回路基板に回転可能にカラーで留められた少なくとも一つのピンを有する。カラーと同様にピボットには、多数のスペーサーを使わねばならない。例えば1.2-1.5 $\mu$ mの銅(Cu)の層102を、例えば図12cに示すように蒸着により伝導体の上部に形成する。銅層102(図12cで銅1として示す)を使い、カラーと同様にピボット用にスペーサーを形成するが、これについては以下に詳述する。特に図12dで示すように、フォトレジスト層104を銅層102の上にかける。カラー部分と同様に接点、ピボットを、従来のフォトリソグラフィ技術により定める。接点、カラー及びピボットを定めた後、銅層102を、例えば従来の湿式エッチングにより図12eに示すようにエッチングする。加えて、フォトレジスト層104も取り除く。第二スペーサーを図13aに示すように形成する。特に、例えば1.2 $\mu$ mの銅(銅2)112の第二層を、例えば蒸着で図12eに示すように、構造物の頂上部に形成する。一旦銅112の第二層を堆積させたら、ピボットとカラーベースは、図13b、13cに示されるように定まる。特に、フォトレジスト層114を銅層112の上へかけて、従来のフォトリソグラフィ技術により露光し、図13bに示すようにピボットとカラーベースを定める。続いて、図13cに示すように、銅II層112をエッチングして、ピボットとカラーベースを定める。

【0019】図13dでは、頂上接点を図13dと13eに示すように形成する。特に、例えばクロロベンジンフォトレジスト116のフォトレジスト層を、図13dに示すように構造物上にかける。フォトレジスト層116をマスクし、従来のフォトリソグラフィ技術により露光させ、図13eに示すように一対のトップ金接点118、120を定める。特に、一旦接点範囲を図13dに示すように定めたら、例えば5,000の金(Au)を構造物上に蒸着させ、金接点118、120を形成する。

【0020】金接点118、120を形成した後、開放銅層を図13fと13gに示すように形成する。特に、フォトレジスト層122を図13eに示すように構造物にかけ、従来のフォトリソグラフィ技術で露光させ、開放銅層124を定める。開放銅層124は、例えば図1

3fに示す構造物上に2,000-5,000の銅を蒸着させ、フォトレジストを除去することによって堆積させる。開放銅は、形成されたピンとピボットを回転できるようにする工程で後に除去される。ビームとプレートを、構造物上にかけられたフォトレジスト層(図示せず)を通して形成して従来のフォトリソグラフィ技術によってかたどり、ビームと界磁プレートを定める。その後、構造物を例えば4 $\mu$ mニッケル(Ni)でめっきしてビームとプレートを形成し、第一ニッケル層(ニッケルI)128を形成する(図14a)。加えて、上述のフォトレジスト層を取り除く。

【0021】第一ニッケル層128を施した後のスイッチの断面図を図14aに示す。図14aに示すように、ビームを形成するニッケル層128の下面に、トップ接点118、120を堆積させる。簡略化のため図14aでは銅層102、112を取り除き、ビームの下面に形成された接点118及び120と回路基板52上に形成された伝導体との間のスペーシングを図示する。図14bは、カラー部分の断面図である。図15bに示すように、一対のピン127、129を、ピボットに近接させて明らかにしてある。ピン127、129は、銅層102の頂上に形成される。二つのカラー131、133(図15b)は、ピン127、129上方に銅層(銅II、銅IV)130、132をメッキさせて、ピン127と129の頂上に形成される(図14c、14d)。カラー131、133は、従来のフォトリソグラフィ技術によりかたどられてもよい。第一層は、5,000mmの銅Cuをメッキして形成してもよく、第二層は構造物から2-3 $\mu$ m銅Cuをメッキして形成してもよい。

【0022】図15a-cに示すように、ニッケルの第二層(ニッケルII)134を構造物の頂上に形成するが、この構造物は、図15aに示すようにビームを補強しカラー131、133を形成し、回路基板52対してピン127と129を回転可能に支え捕捉することになる。カラー131、133をピン127と129の上に形成した後、銅をエッチングして図15b、15cに示す構造を生じさせる。ひとたび銅がエッチングされると、ピン127と129は、図15bに示すように自由に回転できる。図15cは、銅をエッチングした後のピボットを示す。本発明に関し多くの変更修正が、上記教示に照らし明らかに可能である。従って、本発明は上記に特定して述べた以外の形で付属の請求項の範囲内で実施できると理解されねばならない。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】既知のRFスイッチの立面図である。

【図2】本発明によるRFスイッチの立面図である。

【図3a】図2と同様の立面図で界磁プレートを更に示す図である。

【図3b】図2と3aのRFスイッチの平面図である。

【図 4】MMIC 上に作られた本発明による RF スイッチの斜視図である。

【図 5 a】本発明による RF スイッチの代替実施例の立面図である。

【図 5 b】図 5 a の RF スイッチの平面図である。

【図 6】本発明による図 5 の RF スイッチの代替実施例の平面図である。

【図 7】本発明による図 3 の RF スイッチの別の代替実施例の平面図である。

【図 8】スイッチが ON 位置にある代表的スイッチの挿入損失と戻り損失 dB を周波数 GHz の関数として表したグラフである。

【図 9】スイッチが OFF 位置にある代表的スイッチの絶縁性能 dB を周波数 GHz の関数として表したグラフである。

【図 10 a】図 3 のスイッチの絶縁性能のグラフである。

【図 10 b】図 5 のスイッチの絶縁性能のグラフである。

【図 11】本発明による RF スイッチの代表的な接点構成の立面図である。

【図 12 a】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 12 b】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 12 c】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 12 d】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 12 e】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 13 a】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 13 b】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

\*

\* 【図 13 c】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 13 d】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 13 e】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 13 f】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 13 g】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 14 a】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 14 b】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 14 c】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 14 d】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 15 a】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

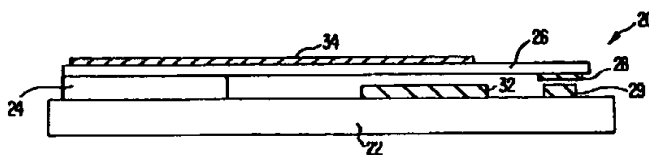
【図 15 b】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

【図 15 c】本発明によるスイッチの製造工程を段階的に示す図である。

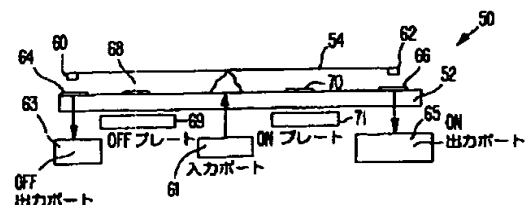
#### 【符号の説明】

- 47 ホール
- 49 マイクロ波モノリシック集積回路
- 50 RF スイッチ
- 52 回路基板
- 54 ビーム
- 58 ピン
- 60、62 接点
- 69、71 界磁プレート

【図 1】



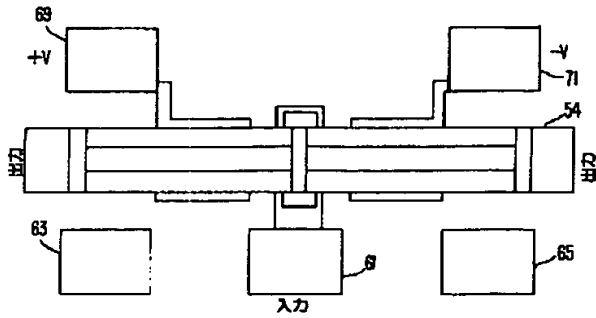
【図 3 a】



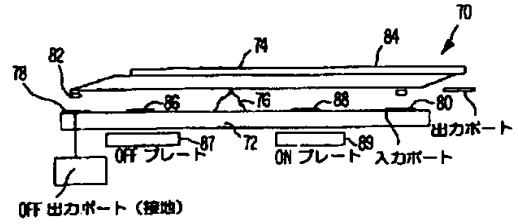




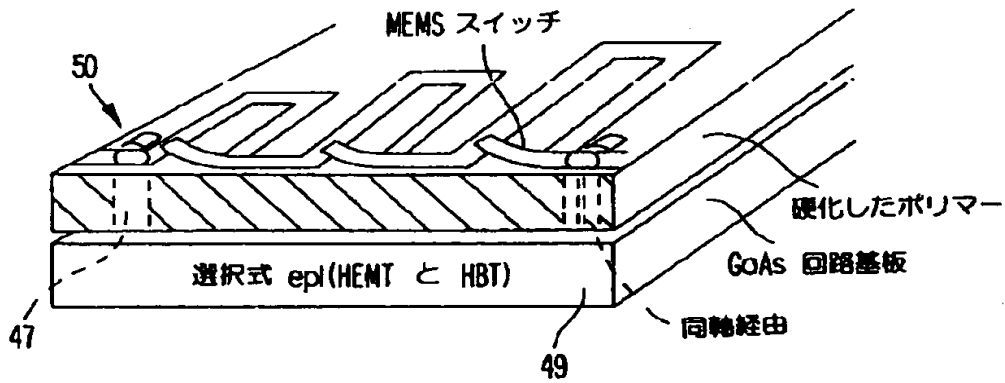
【図 3 b】



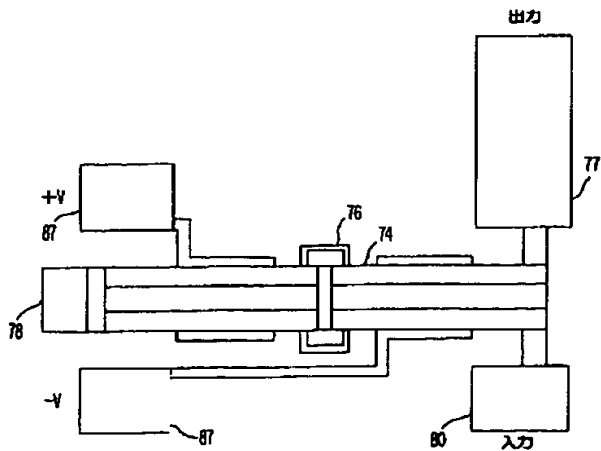
【図 5 a】



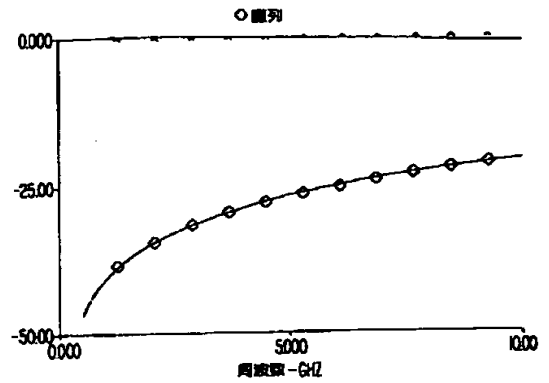
【図 4】



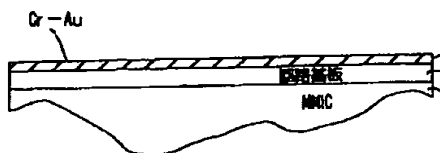
【図 5 b】



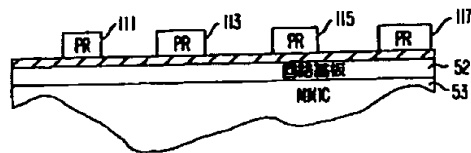
【図 10 a】



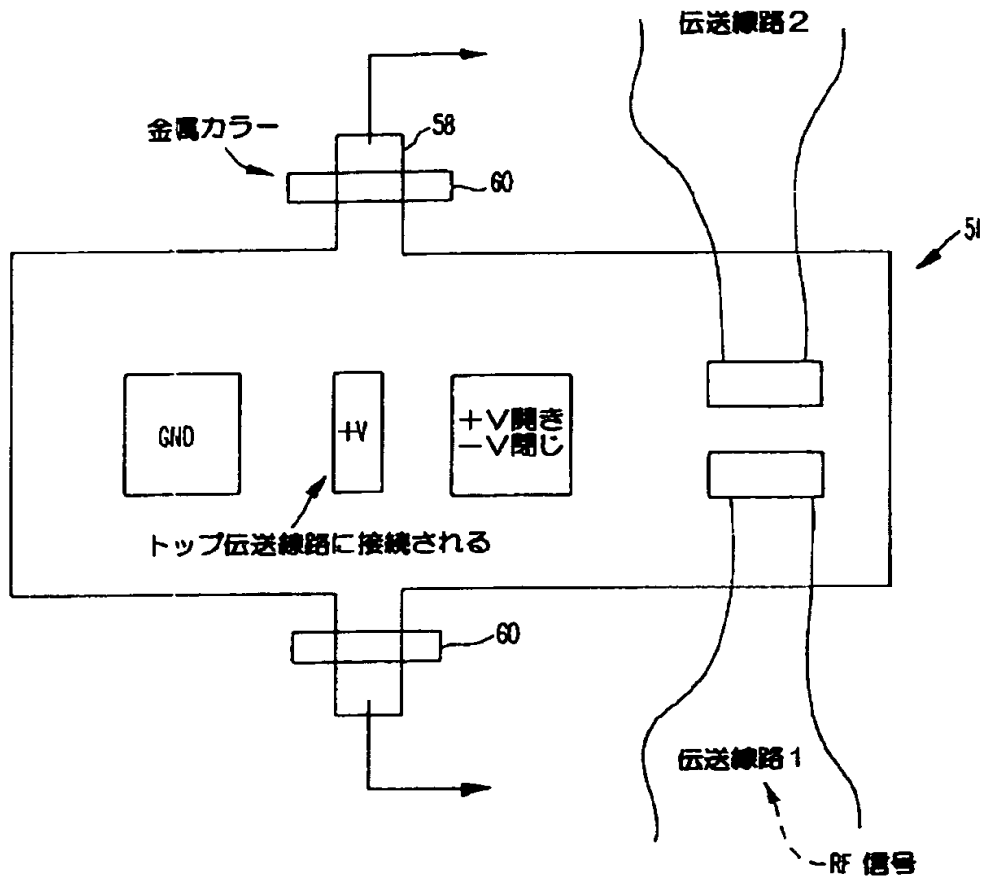
【図 12 a】



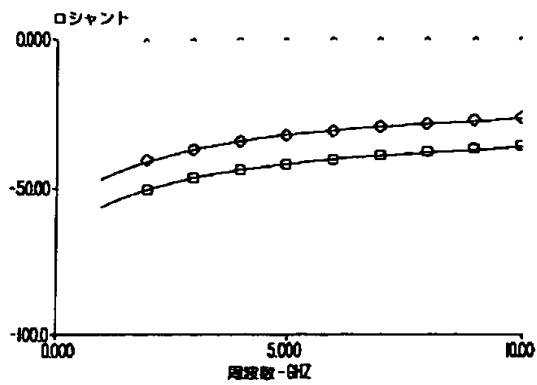
【図 12 b】



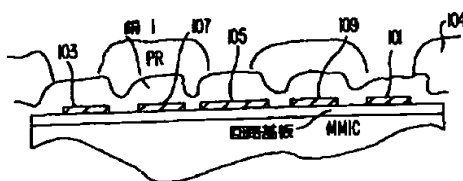
【図 6】



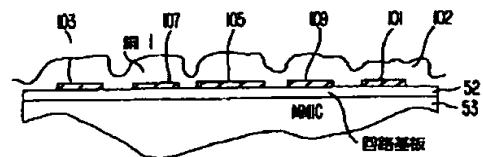
【図 10 b】



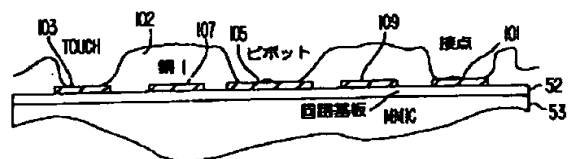
【図 12 d】



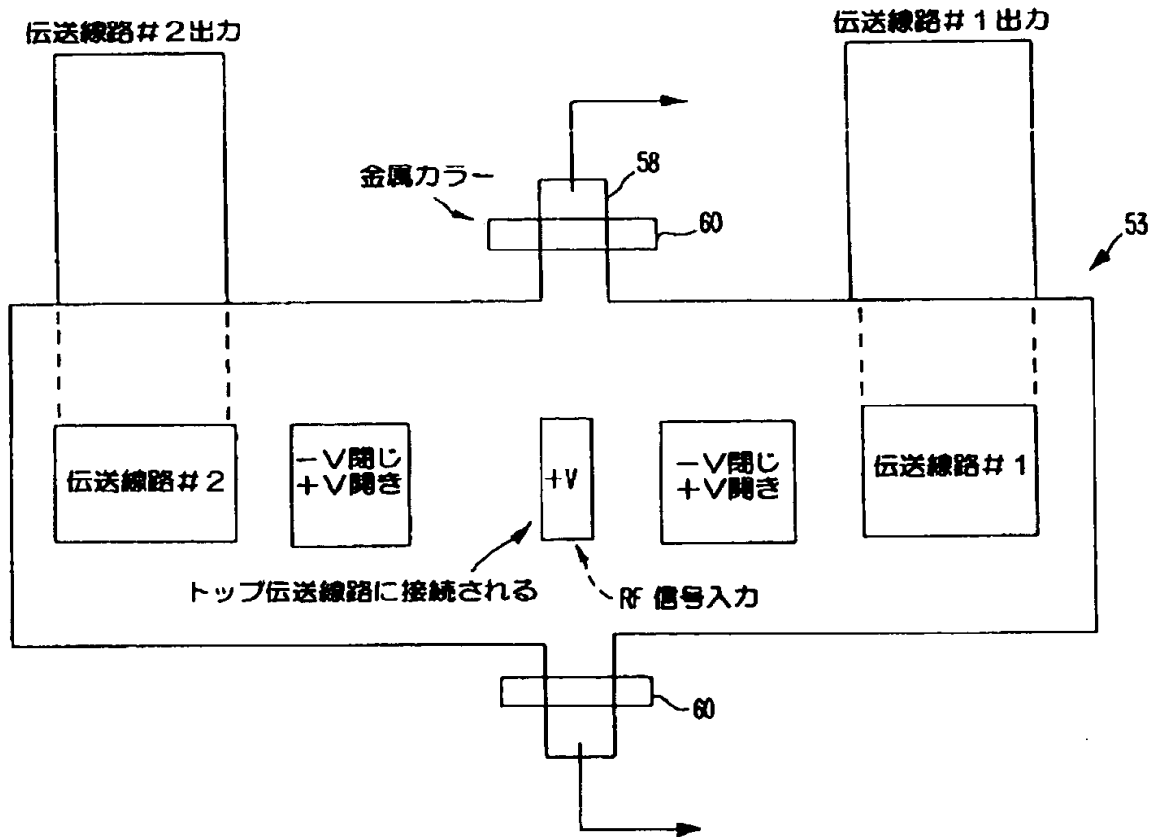
【図 12 c】



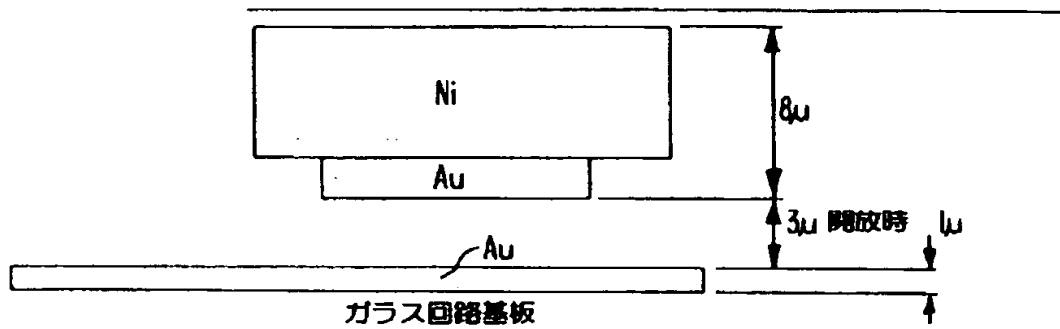
【図 12 e】



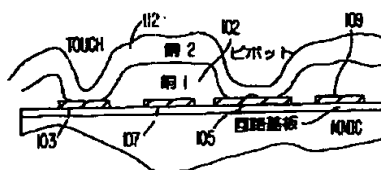
【図 7】



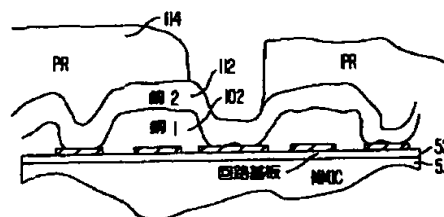
【図 11】



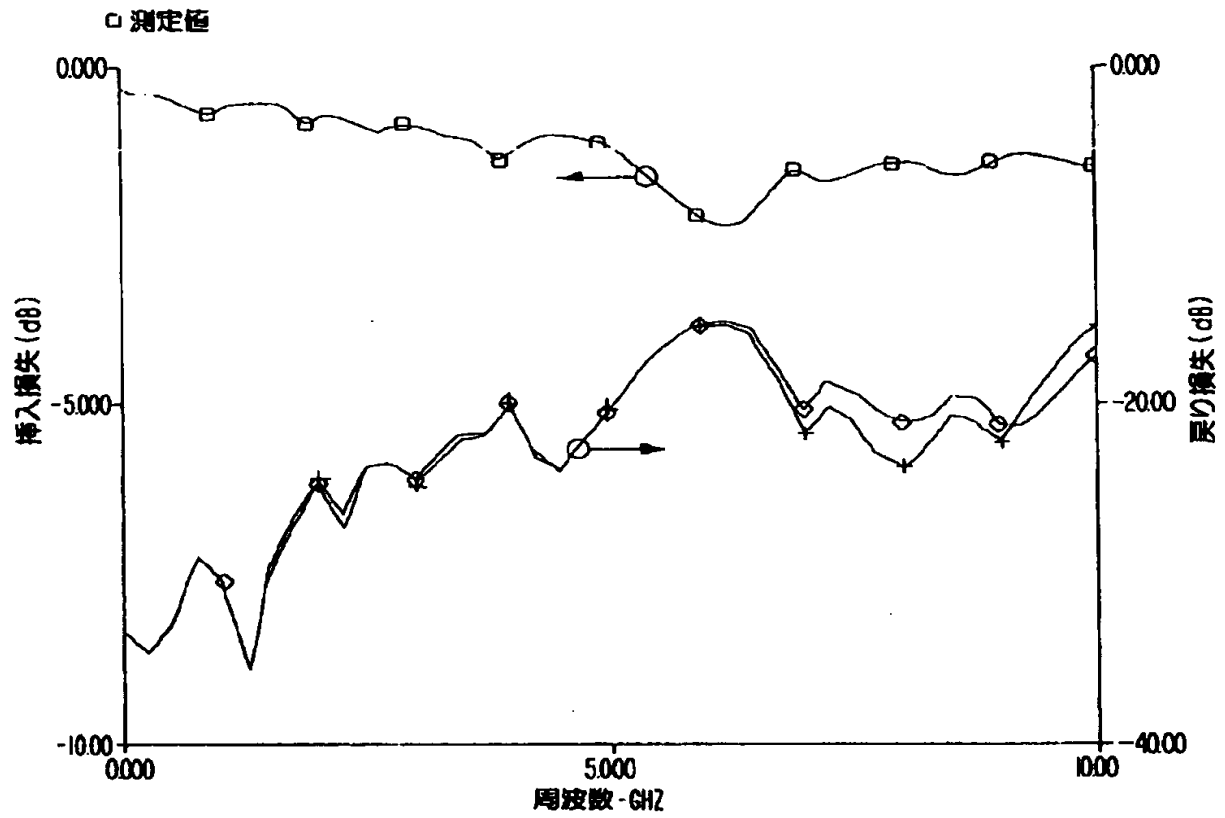
【図 13 a】



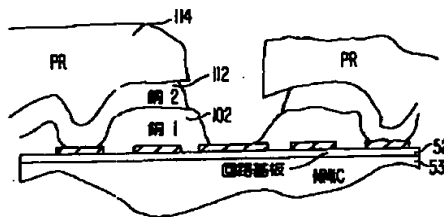
【図 13 b】



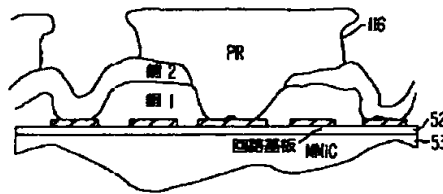
【図8】



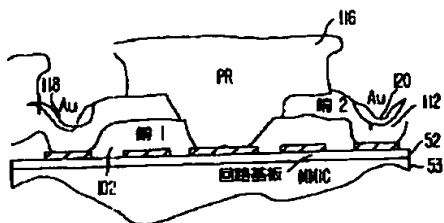
【図13c】



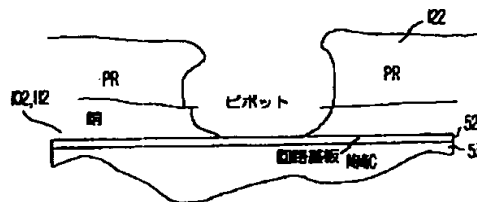
【図13d】



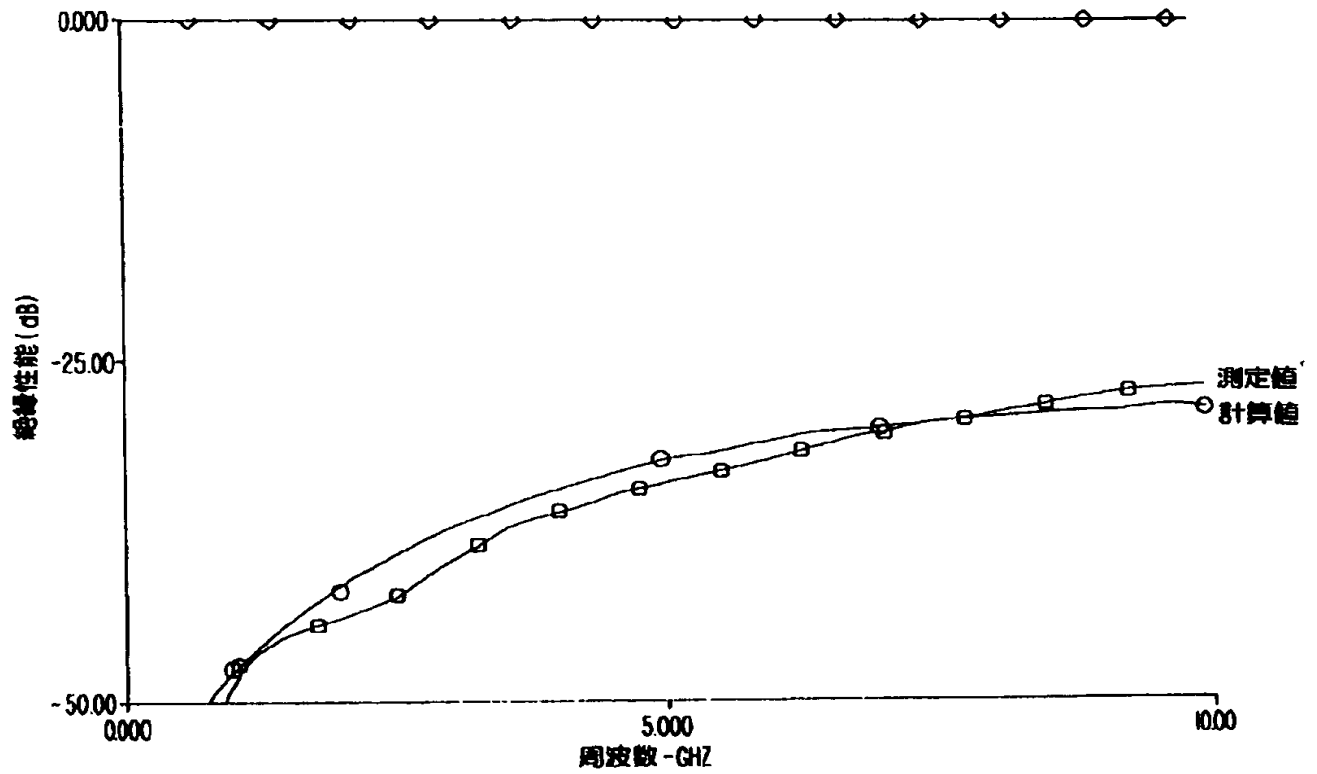
【図13e】



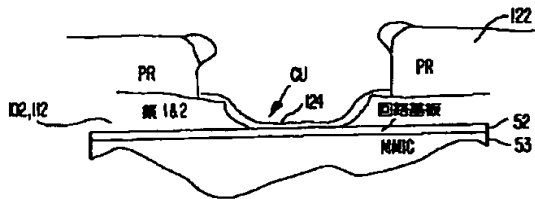
【図13f】



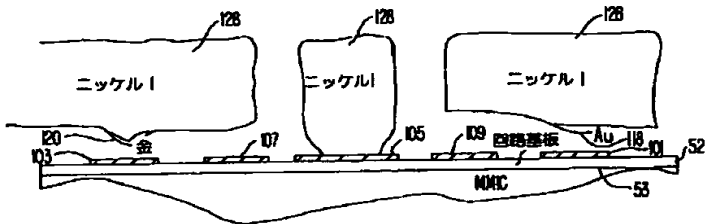
【図9】



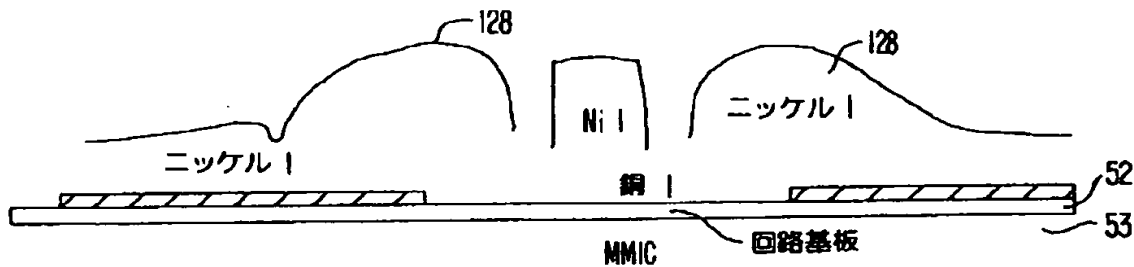
【図13g】



【図14a】



【図14b】





フロントページの続き

(72)発明者 ジョージ ダブリュー マッキーヴァー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
90277 レドンド ビーチ ノース ポリ  
ーナ アベニュー 801

(72)発明者 アルフレッド イー リー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
90505 トーランス マカフィー ロード  
4612